DISJUNÇÕES COLUNARES
E DIREÇÕES DE CORRIDAS
DE LAVA

WANDERLEY ORSATTI

Dissertação para obtenção do título de Mestre

Orientador: PROFESSOR DOUTOR JOSÉ VICENTE VALARELLI

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

SÃO PAULO

1978

B A S A L T O E D I A B Á S I O

DÁDIVAS DA NATUREZA PARA A AGRICULTURA PAULISTA

L A U R E , M A R C E L O E V I N I C I U S

BÊNÇÃOS DE DEUS EM MEU LAR

I N D I C E

	Página
I RESUMO	01
II INTRODUÇÃO	02
III OCORRÊNCIA DE BASALTO E DIABÁSIO NO ESTADO DE SÃO PAULO	07
IV ESTRUTURAS DOS BASALTOS E DIABÁSIOS NO ESTADO DE SÃO PAULO	16
V ESTUDO DAS DIREÇÕES DE FLUXO DE LAVA	35
VI RESULTADOS DE OBSERVAÇÃO	41
VII DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	61
VIII AGRADECIMENTOS	64
IX BIBLIOGRAFIA	65

I - R E S U M O

Este trabalho aplica o método de BRINKMANN (1957) no estudo de direções de corrida de lavas e de fluxos de intrusões do tipo sill aos basaltos e diabásios do Estado de São Paulo, através das disjunções colunares.

Foram estudadas várias exposições de rochas básicas que exibem tais estruturas no Estado de São Paulo. Outras estruturas que pudessem auxiliar no objetivo principal deste trabalho foram apreciadas, bem como suas interrelações, origem e significado.

Foram executadas 56 medições de disjunções colunares de rochas básicas no Estado de São Paulo e os resultados mostraram boa concordância entre os valores obtidos e a situação geológica examinada.

II - I N T R O D U Ç Ã O

O estabelecimento das direções de corridas de lava e de intrusões apresenta interesses em diversos campos da Geologia:

1 - Em GEÓLOGIA GERAL:

- poderá permitir a determinação das direções principais de diaclasamento , quer reais, quer potenciais;
- o estudo da gênese de formações correlatas às disjunções colunares oferece subsídios para uma melhor compreensão de condições existentes na época dos derrames:
- a presença de basaltos "gravata-borboleta" traz informações a respeito das pressões existentes no centro dos derrames;
- "grutas basálticas", como as de Or-lândia, informam a respeito de pequenos movimentos crustais na época ou posteriormente aos derrames;
- disjunções colunares inclinadas indicam o sentido do fluxo de lava;
- tubos de lava indicam o sentido da corrente;
- a regularidade, a posição e o tamanho das colunas traduzem as condições de resfriamento;
- a presença de espiráculos e vesículas cachimbo fornece informações a respeito do piso por onde a lava caminhou.

2 - Em GEOTECTÔNICA

o diaclasamento permite a localização dos esforços principais associados à cristalização.

3 - Em GEOLOGIA APLICADA:

a determinação das direções principais de diaclasamento é de grande valia na construção de túneis, barragens, estradas, etc.

ARID e LÂNDIM (1967), na gênese das cachoeiras do Rio Grande (SP), informam que "o sistema de diaclasamento intervém marcadamente no desenvolvimento de suas quedas. O estudo do sistema principal de diáclases verticais na região das quedas revelou que há geral coincidência entre as direções predominantes das quedas, sejam principais ou subordinadas, e corredeiras e direções dos cursos afluentes do Rio Grande com as direções do sistema de diaclasamento."

CHIOSSI (1971), ao analisar, na geologia de barragens, os problemas correlatos ao estudo geológico, assinala, a respeito dos basaltos e outras rochas vulcânicas: "os basaltos devem ser olhados sempre como suspeitos, quando ocorrem na área do reservatório. A parte central de um derrame de grande espessura pode ser bastante densa e não fraturada, mas tanto na superfície quanto no contato com a formação subjacente e nas zonas de contato entre derrames sucessivos, a rocha será provavelmente fraturada e permeável."

MOLER e CABRERA (1976) descrevem diversas feições estruturais do basalto nas obras das barragens de São Simão e Itaipu, tais como juntas, brechas, cavidades, espiráculos, etc., e discutem a importância das mesmas, do ponto de vista da Engenharia.

OLIVEIRA, SILVA e GUIDICINI (1976), além das características das rochas, somam, às mesmas, as interações daquelas características com os condicionamentos climáticos na influência do comportamento hidrogeotectônico dos basaltos em fundações das barragens.

Poucos são os dados, na literatura nacional a respeito da direção de corridas de lavas. Tal se deve à pequena existência, em nossos derrames, de indícios seguros para essas determinações, isto porque os derrames se encontram, em sua maior parte, ou parcialmente recobertos por espesso manto de

intemperismo ou por sedimentos mais modernos, mascarando assim muitas feições que poderiam contribuir para a elucidação do problema.

WATERS (1960) relata as seguintes características (encontradas no planalto do Rio Colúmbia e nos derrames de Oregon Cascades, USA) que se classificam como valiosas porque são abundantes, facilmente interpretáveis e fornecem resultados sem ambigüidades:

ESTRUTURAS DE INTERIOR DE FLUXOS:

- colunas inclinadas;
- tubos de lavas preenchidos;
- fissuras longitudinais; e
- juntas colunares.

ESTRUTURAS DE TOPO DE FLUXOS:

- superfície de "pahoehoe" (cristas, vesículas orientadas, filamentos de vidro distendidos, bolhas quebradas e distorcidas, caneluras de lava, etc).

ESTRUTURAS DE BASE DE FLUXOS:

- espiráculos.

LEINZ (1949), em trabalho realizado em Santa Catarina e Rio Grande do Sul, utilizou-se de observações sobre os desníveis das soleiras e sobre amígdalas preenchidas por ágatas horizontais para concluir que os derrames se realizaram sobre planos praticamente horizontais. Para a determinação da direção de corridas de lavas, utilizou-se de texturas fluidais representadas pelas vesículas e amígdalas.

Nesses dois Estados citados, as lavas afloram, podendo, portanto, tais estruturas serem facilmente observáveis, o que não ocorre no Estado de São Paulo

ALMEIDA (1956) informa-nos que "o vulcanismo basáltico processou-se sobretudo através de imensas geoclases de traçado sub-retilíneo que, no sul de São Paulo, no Paraná e em Santa Catarina, têm direções vizinhas de 45º NW."

FÜLFARO e SUGUIO (1967) apresentam, no Estado de São Paulo, duas regiões onde ocorrem concentrações anormais de diques, onde também a possança é superior à média:

- FARTURA (sul do Estado)

Em 7 km, da cidade de Fartura em direção a Piraju, pela estrada de rodagem, a rodovia corta cinco diques até a Serra da Fartura. Esses diques pertencem a um sistema orientado para N 40-45° W, com espessuras entre 60-100m e são acentuadamente verticais. Dois desses diques cortam os arenitos da Formação Botucatu, intrometendo-se nitidamente sob os derrames da Serra da Fartura, mostrando a sua condição de possíveis condutos de alimentação. Nessa região (sul do Estado de São Paulo), os diques formam sistemas paralelos, orientados preferencialmente para NW, embora ocorram alguns orientados para NE.

- TAMBAÚ-SANTA ROSA DO VITERBO (norte do Estado)

Entre essas duas cidades, os autores localizaram um sistema paralelo de diques dirigido para N 60-70° E, também verticais, com espessuras ao redor de 200 m, com ocorrências subsidiárias de alinhamentos dirigidas para N 40-45° W.

A respeito dessas concentrações de diques, os autores concluíram, baseados em LEINZ (1949) que tais áreas seriam antigas regiões de alimentação.

OLIVEIRA e LEONARDOS (in LEINZ, 1949) apontam, para o Estado de São Paulo, duas direções de fluxos de lava:

- para os derrames situados na margem direita do Rio Tietê, a direção é NE-SW e o sentido é S 65° W.
- para os derrames na margem esquerda do Rio Tietê, a direção é E-W e o sentido é para oeste.

WERNICK et al. (1974), utilizando-se da metodologia de BRINKMANN (1957) efetuaram medições de direções de corridas de lava e de intrusões nas cidades paulistas de:

- LEME:

as medições foram efetuadas em uma pedreira localizada a oeste da cidade, situada num sill. Os resultados revelaram esforços preferenciais entre 150°-170° e 330-350°, sugerindo que no local examinado a penetração do sill

tenha ocorrido ao longo da direção NW-SE, mais provavelmente de NW para SE, o que coincide com as observações de SOARES (1973), de que muitos sills desaparecem para dentro da Bacia do Paraná.

- BRODÓSQUI:

as medições foram realizadas em um derame situado a SE da cidade. Os resultados obtidos indicam fluxo magmático de SW para SE.

O objetivo principal do presente trabalho é a determinação de corridas de lavas e de intrusões de rochas básicas no Estado de São Paulo, aproveitando-se das disjunções colunares e outras estruturas associadas exibidas por tais rochas.

As disjunções são as estruturas que melhor se prestam para tais objetivos, uma vez que as outras estruturas utilizadas por WATERS (1960) e LEINZ (1949), por motivos vários, são raras em nosso Estado.

III - OCORRÊNCIA DE BASALTO E DIABÁSIO NO ESTADO DE SÃO PAULO

De acordo com ALMEIDA (1964), os basaltos e os diabásios do Estado de São Paulo constituem a Formação Serra Geral, pertencente ao Grupo São Bento, de idade Triássica (figura 1).

RUEGG (1975) apresenta as seguintes características mineralógicas para os basaltos e diabásios da Bacia do Paraná:

- quantitativamente, tais rochas são essencialmente constituídas por FELDSPATOS ÁLCALI-CÁLCICOS e PIROXÊNIO. Os primeiros representam o componente quantitativamente mais importante e ocorrem com composição muito variada, cobrindo quase todos os termos da série isomórfica dos plagioclásios;

- os PIROXÊNIOS são de vários tipos. Ocorrem os tipos ricos em cálcio, que formam a série isomórfica das augitas e ferroaugitas, os pobres em cálcio, da série isomórfica das pigeonitas, e CLINOPIROXÊNIOS subcálcicos de composição variável;

- o principal mineral acessório é constituído pelo conjunto de OPACOS em quantidades relativamente grandes. Dentre os opacos, as principais fases são ÓXIDOS PRIMÁRIOS, MAGNETITA e ILMENITA;

- a OLIVINA não é incomum, porém, quando ocorre, não tem expressão quantitativa;

- a APATITA é, em geral, presente;

- os demais minerais registrados entre essas rochas são de estrutura secundária. Preenchem vesículas e outras estruturas da rocha. Entre eles, os mais comuns são o QUARTZO e variedades microcristalinas ou hidratadas da SÍLICA, CALCITA, CLORITAS e grande número de ZEÓLITAS.

A distinção entre basalto e diabásio é feita com base na textura: o primeiro exhibe textura afanítica e a textura do segundo é fanerítica.

Modernamente, tem-se observado, de acordo com SARTORI e MACIEL FILHO (1978) que os derrames, na Bacia do

Paraná, possuem diferenciação ácida, ocorrendo, entre outros lugares da referida Bacia, na zona limítrofe dos Estados do Paraná e São Paulo, junto às barragens de Xavantes e Jurumirim, nos municípios paulistas de Xavantes e Piraju que são, até o presente momento, as ocorrências mais setentrionais de GRANÓFIROS, em contato com arenito intercalar derivado da Formação Botucatu, em altitude superior a 350 metros.

Tais GRANÓFIROS apresentam cor cinza-claro e textura microgranular, compostos fundamentalmente por uma trama de intercrescimento micrográfico de quartzo e feldspato alcalino envolvendo cristais de plagioclásios e piroxênios. Estes últimos particularmente, são mais abundantes e maiores nas amostras dos dois municípios paulistas.

Ainda, segundo ALMEIDA (1964), o basalto, no Estado de São Paulo, raramente apresenta estruturas fluidais. A base, mas particularmente o topo, apresenta-se com estruturas vesiculares e amigdaloidais em espessuras que, no alto de grandes derrames, pode ultrapassar 3 metros.

O basalto constitui possantes derrames superpostos uns aos outros ou separados por espessuras variadas de arenitos eólicos. Os derrames individuais têm espessura variável entre menos de 1 metro até 50 metros.

Quando o derrame repousa sobre uma camada delgada de arenito ou quando os derrames se sobrepõem diretamente sem sedimentos entre eles, a base costuma ser uniforme e relativamente plana. Quando os derrames recobrem espessuras grandes de arenito, a base é irregular, por se acomodar à topografia dunar original. Muitas vezes a superfície da duna foi sensivelmente modificada, como se houvesse sido erodida pela lava, formando assim inclusões de blocos de arenitos na parte inferior do derrame (fotografia nº 1).

Em um derrame de basalto, as estruturas principais, de baixo para cima, são as seguintes:

- zona de basalto vítreo, que passa gradativamente para
- basalto com predominância de diáclases horizontais;

- basalto com diáclases verticais;
- basalto novamente com diáclases horizontais;
- basalto com vesículas e amígdalas (figura 2).

As espessuras das lavas são muito variáveis.

Em Presidente Epitácio (SP), sondagens feitas pela PETROBRÁS atravessaram 1.529 metros de espessura das lavas. É de se notar que a espessura da lava vai diminuindo à medida que se afasta do Rio Paranã (figura 3).

As idades dos basaltos e diabásios, no Estado de São Paulo, foram calculadas por AMARAL et al., (1966) e MELFI (1967) e situam-se entre 120 e 140 milhões de anos.

Os diabásios apresentam-se na forma de sills, lacólitos e diques. Os dois primeiros afloram comumente na Depressão Periférica ou nela são reconhecidos por meio de sondagens. Os diques de diabásio ocorrem com frequência muito variável em toda a Depressão Periférica e nas faixas das Cuestas Basálticas, representando o preenchimento de geoclases e menores fissuras que alimentaram os derrames e sills.

Geomorfologicamente, de acordo com ALMEIDA (1964), o Estado de São Paulo foi dividido em PROVÍNCIAS GEOMÓRFICAS que, aproximadamente, correspondem às grandes divisões geológicas de sua geologia e se estendem aos Estados vizinhos. Tais províncias foram subdivididas em ZONAS, tão naturais quanto possíveis, servindo-se de feições locais do relevo: altitude, amplitude, orientação das formas topográficas, extensão de superfícies de erosão antigas, processos de erosão e sedimentação, etc. Algumas zonas são subdivididas ainda em SUBZONAS, quando diversidades estruturais ou morfológicas o recomendaram.

Resumidamente, as Províncias Geomórficas correspondem ao seguinte:

a) PLANALTO ATLÂNTICO

Constituído principalmente por rochas do tipo de biotita-gnaisses, gnaisses graníticos, micaxistos, quartzitos, granitos e pegmatitos.

b) PROVÍNCIA COSTEIRA

Suas rochas principais são os granitos, quartzitos, mármore e rochas gnáissicas.

c) DEPRESSÃO PERIFÉRICA

É uma área sensivelmente abaixada pela erosão, entre as terras altas do Planalto Atlântico e as cristas, igualmente elevadas, das Cuestas Basálticas.

É constituída de sedimentos, derrames e intrusões de rochas basálticas.

d) CUESTAS BASÁLTICAS

A borda dos derrames basálticos no Estado de São Paulo apresenta-se como elevadas e muito festonadas cuestas, devidas a pequeno mergulho regional das camadas para noroeste e à resistência e grande espessura dos derrames (não raro superiores a 50 metros).

Tais derrames preencheram depressões de um relevo dunar, cujos desníveis locais podiam ultrapassar uma centena de metros, tal como se observa atualmente no deserto do Saara.

Sucederam-se os derrames uns aos outros, sem que fossem cobertos de sedimentos, ou separaram-nos camadas de arenito eólico, espessas, às vezes, de muitas dezenas de metros.

e) PLANALTO OCIDENTAL

Estende-se à noroeste das Cuestas Basálticas. Geologicamente é quase inteiramente representada pela Formação Bauru, tendo a erosão, em alguns locais, descoberto o substrato basáltico.

Figura 1 - OCORRÊNCIA DE BASALTO E DIABÁSIO NO ESTADO DE SÃO PAULO.
 Extraído do Mapa Geológico do Brasil
 Ministério de Minas e Energia - DNPM
 ESCALA = 1:5.000.000

FOTOGRAFIA 1 - BRECHA BASÁLTICA
Serra de Botucatu

Figura 2 - Esquema de um derrame típico de basalto.

Figura 3 - Isôpacas de lava da Bacia do Paraná,
(W.F.SILVA e C.G. DE BRITO)
Petrobrás - 1973

Figura 4 - Divisão Geomorfológica do Estado de São Paulo.
Extraído de Almeida, F.F.M., de (1964)

IV - ESTRUTURAS DOS BASALTOS E DIABÁSIOS DO ESTADO DE SÃO PAULO

1 - JUNTAS COLUNARES

As colunas das rochas básicas são devidas às contrações motivadas pelo resfriamento do material magmático. Durante o resfriamento, a rocha tende a se contrair, mas todos os sólidos têm o poder de se expandir sob tensão. Quando a tensão, devida à contração do resfriamento, é capaz de vencer este poder de extensão, a rocha se parte.

A posição, tamanho, forma e regularidade das juntas colunares dependem dos seguintes fatores:

- viscosidade da lava;
- temperatura da lava;
- velocidade do resfriamento;
- regularidade do resfriamento; e
- homogeneidade da lava.

Derrames de pequena espessura são muito mais facilmente perturbáveis por movimentos diversos, fazendo com que se perca a homogeneidade da lava, acarretando, conseqüentemente, um resfriamento irregular, não permitindo, portanto, a formação de colunas regulares.

A possança das colunas depende principalmente da velocidade do resfriamento. Quanto mais rapidamente um fluxo se esfriar, menos espessas serão as colunas. Tal fato pode ser evidenciado pelas colunas encontradas em basaltos e diabásios, pois as colunas dos segundos são, em sua maior parte, mais espessas que as dos primeiros. (fotografias nº 2 e 3).

As formas geométricas exibidas pelas colunas podem ser explicadas se levarmos em conta que, quando uma rocha homogênea quente se esfria uniformemente em toda a extensão de uma superfície plana, a contração se desenvolve por igual em qualquer direção de tal superfície. Esta condição seria a mesma se a contração se efetuasse sobre cada um de uma série de centros igualmente espaçados.

Fotografia 2 - Disjunções colu-
nares em basalto.
SERRA DO CÔRREGO
FUNDO (TAMBAÚ)

Fotografia 3 - Disjunções colu-
nares em diabásio
PEDREIRA DE LEME

Tais centros (por exemplo: C, 1, 2, 3, etc -figura 5) formam os vrtices de uma rede de triângulos equiláteros, sendo esta a única disposio teoricamente possível para os centros ficarem igualmente espaçados. No momento da ruptura, a distância entre um dado centro C e os mais próximos a ele (1 a 6)  tal que a contrao ao longo da linha C-1  suficiente para vencer a resistência da trao da rocha.

A tenso exercida produz ento um fendilhamento na metade do caminho entre C e 1, e perpendicular  reta C-1. Como cada centro est rodeado de outros seis, o sistema de fendas resultantes  hexagonal.

Enquanto se produz uma fenda em qualquer ponto da superfície de resfriamento, os centros se localizam proximamente e vai se repetindo um mosico de fendas hexagonais estendendo-se quase simultaneamente por toda a superfície.

Devido  presença de gases inclusos, correntes de conveco dentro da massa, variao da composio química, fragmentos inclusos, etc., as massas de lavas raramente so homogneas e assim no se formam somente prismas hexagonais. Por este motivo, encontramos também prismas triangulares, quadrilaterais, pentagonais, heptagonais, octogonais, etc. Quanto maior a homogeneidade da lava e a regularidade do resfriamento, maior a quantidade de prismas hexagonais sobre os outros tipos.

Tal fato  confirmado nas colunas basálticas encontradas na Serra do Crrego Fundo, entre Tamba e Santa Rita do Passa Quatro. As colunas da poro superior da exposio so mal formadas, exibindo prismas triangulares e quadrilaterais (fotografia n 4). Abaixo destas, encontramos predomínio de prismas pentagonais (fotografia n 5) e, abaixo destas, predomínio de prismas hexagonais (fotografia n 6).

O fendilhamento da rocha no se processa antes da solidificao.  difícil imaginar lava líquida ou mesmo plástica se rachando. Pelas razes abaixo,  de se supor ser o lento resfriamento a causa das estruturas colunares em rochas básicas:

a) - a condutibilidade térmica do basalto  pequena, e, ento, uma massa de lava deve, necessariamente, esfriar-se muito lentamente. Além da heterogeneidade da lava,

Figura 5 - Formação de figuras geométricas nas disjunções colunares das rochas básicas. (HOLMES - 1960)

Fotografia 4
SERRA DO CÔRREGO FUNDO - TAMBAŮ
Porção superior da exposição

Fotografia 5
SERRA DO CÔRREGO FUNDO - TAMBAŮ
Porção intermediária da exposição

Fotografia 6
SERRA DO CÔRREGO FUNDO - TAMBAŮ
Porção inferior da exposição

devemos apontar também o rápido resfriamento para a não formação de colunas em fluxos pouco espessos.

b) - Os fendilhamentos vão ocorrer na rocha sólida quente quando a contração se tornar maior que a expansão sob tensão. A rocha é capaz de resistir à partição por um período maior quando a tensão aumenta vagarosamente por um resfriamento lento. Se a tensão aumenta rapidamente, a massa se rompe em fragmentos ou em finas colunas. A velocidade de resfriamento da porção superficial do fluxo é maior que no interior, isto porque correntes de convecção do ar atmosférico transferem o calor da superfície; mas o piso onde se assenta a base do fluxo, sendo solo ou uma rocha qualquer (portanto um mau condutor de calor), oferece muita resistência à transferência do calor, portanto o interior e a base do fluxo resfriam-se lentamente. Em um fluxo espesso, pode-se verificar, muitas vezes, a parte superior com colunas mais finas que as inferiores, dando a impressão de dois derrames distintos superpostos. Também é comum o derrame apresentar maior quantidade de diaclasamento horizontal na porção superior e colunas na porção central, dando a mesma impressão do descrito acima (fotografia de nº 7).

Fotografia 7 - PEDREIRA CAIUÁ - RINÓPOLIS

c) -. A camada superior do basalto é raramente colunar, mas sim fragmentar, "pahoehoe" ou "aa". A camada superior dos diabásios pode apresentar colunas em virtude de a velocidade de resfriamento de sua parte superior ser bastante inferior à velocidade de resfriamento da parte superior do basalto.

d) - A análise do basalto colunar mostra muito pouco vidro (JAMES, 1920), enquanto que na porção superficial dos derrames a quantidade é maior. A natureza holocristalina do basalto colunar sugere resfriamento lento, pois um resfriamento rápido traria como consequência a formação de maior quantidade de vidro.

2 - JUNTAS COLUNARES INCLINADAS

As juntas colunares inclinadas vão aparecer quando, por um motivo qualquer, o resfriamento em uma direção é mais rápido do que em outra e as colunas se inclinam na direção do resfriamento mais rápido.

As causas para as mudanças na direção do resfriamento e, conseqüentemente, para a inclinação nas juntas colunares, são as seguintes:

- inclusões de água, gases, etc., na lava;
- irregularidade no piso por onde se está movimentando a lava;
- inclusões de materiais englobados pela lava;
- correntes de convecção na lava;
- movimento da lava líquida ou plástica e, portanto, das isoterma;
- variação química na lava com a mudança correspondente na condutibilidade térmica.

É muito pouco provável que as colunas se dobrem depois de formadas, porque se a pressão lateral fosse suficientemente forte, ela fraturaria as colunas, mas não as dobraria. O estado plástico, a cuja pressão lateral a lava iria submeter-se, perdeu-se no momento em que a lava cristalizou-se.

Pelos motivos acima expostos, verifica-se

que as juntas colunares inclinadas podem ser bastante comuns, visto que seus fatores produtores são numerosos. Tais juntas inclinadas são encontradas no Estado de São Paulo:

- Serra da Fartura;
- Boa Esperança do Sul (km 119 da rodovia Jaú-Araraquara);
- Pedreira Douradão (km 340 da rodovia Ourinhos-Piraju);
- Serra de São Pedro;
- Pedreira Limeirense (km 140 da rodovia Anhangüera);
- Pedreira Cavinato (km 141 da rodovia Anhangüera).

Na Serra da Fartura, em alguns locais, as colunas mostram-se em posição horizontal (fotografias nº 8, 9, 10, 11 e 12).

3 - "DUTCH-CHEESE" ("QUEIJOS HOLANDESES")

Tais estruturas (fotografia nº 13) têm o seguinte processo de formação: os esferóides parecem estar empilhados um sobre o outro, e são oblatos pela seguinte razão: a contração ao longo de ax (figura 6) é mais fácil do que ao longo de ab, porque nenhuma separação dos cristais é necessária ao longo de ax.

Para que a tensão em todas as direções possa ser aproximadamente igual, am deve ser mais curto que ax. Assim, as formas dos esferóides dependem da relação da tensão entre ax e am. A forma dos esferóides depende também da pressão vertical ao longo das colunas. Esta pressão tende a resistir ao fendilhamento horizontal e, desta forma, quanto maior a pressão, mais oblato será o esferóide.

4 - JUNTAS ESFÉRICAS

Tais estruturas são secundárias, porque nunca continuam através de uma coluna a outra (fotografia nº 14). Após formadas, as colunas verticais podem continuar a encolher-se, por resfriamento. A contração horizontal causará um alargamento das juntas verticais, mas a tensão em outras direções somente pode ser aliviada pelo rachamento.

Fotografia 8
Colunas inclinadas em diabásio
Rodovia Jaú-Araraquara, km 119

Fotografia 9
Colunas inclinadas em diabásio
Pedreira Cavinato
Rodovia Anhangüera, km 141

Fotografia 10
Colunas inclinadas em basalto
Serra de São Pedro

Fotografia 11
Colunas inclinadas em basalto
SERRA DA FARTURA

Fotografia 12
Colunas inclinadas em basalto
SERRA DA FARTURA

Fotografia 13
ESTRUTURA "DUTCH CHEESE"
Rodovia Rio Claro-São Carlos,
km 196.

Figura 6 - ESTRUTURA "DUTCH
CHEESE"

Tais estruturas são
condicionadas pela
persistência de cen-
tros de contração
após a formação das
colunas

Fotografia 14 -
Juntas esféricas em basalto,
alco intemperizadas.
Rodovia Presidente Castelo
Branco, km 188

Figura 7

Figura 8

Centros de contração ao longo das colunas causam planos concêntricos de fraqueza, os quais, pelo intemperismo, desenvolvem a "estrutura cebolar". Os ângulos sólidos a e b são devidos a estes centros, e tendem a separar-se. (JAMES - 1920).

Fotografia 15
"Decomposição cebolar" em basalto
Rodovia Presidente Castelo Branco,
km 188.

Fotografia 16
O fraturamento de veios
de quartzo pode deixar
marcas no basalto.
Mesma exposição da foto-
grafia anterior.

Se a lava é homogênea, existirão necessariamente centros de contração distribuídos igualmente ao longo de cada coluna e as partículas serão atraídas em direção a este ponto (figuras 7 e 8) resultando enfraquecimentos concêntricos e rachaduras, e também uma junta horizontal mediana entre quaisquer dois centros de contração. Tais estruturas podem restringir-se a algumas colunas sem continuidade para as demais, diferenciando-as de uma origem ligada a um sistema de diaclasamento geral do corpo. Expostas ao intemperismo, elas propiciarão mais facilmente o aparecimento da "decomposição cebolar" (fotografia nº 15). Juntamente com a "decomposição cebolar", nota-se na fotografia nº 16 uma estrutura epigenética no basalto, proveniente de veios de quartzo que, após quebrarem-se em reticulado, deixaram impressas no basalto suas marcas de fraturas.

5 - TUBOS DE LAVA

Durante a corrida, a lava pode esfriar-se rapidamente na superfície e na base, solidificando-se nestas duas regiões e formando desta maneira um tubo ou túnel consolidado em volta da lava ainda em fusão e em movimento. Se o suprimento de lava for cortado, o líquido pode drenar-se, deixando o tubo vazio ou parcialmente preenchido, mas em outros tubos a lava pode permanecer neles e aí se solidificar, originando tubos preenchidos.

Os tubos preenchidos podem ser reconhecidos por sua estrutura circular ou ovóide e podem mostrar bandas concêntricas de lavas que podem ser ou não vesiculares. As dimensões dos tubos são variáveis (fotografias nº 17, 18, 19 e 20)

Fotografia 17
Tubo de lava preenchido,
localizado em uma pe-
dreira abandonada,
próxima à cidade de
Barra Bonita.

Fotografia 18
Tubo de lava preen-
chido, ovóide.
Serra de Botucatu

Fotografia 19
Tubo de lava preenchido.
BARRA BONITA

Fotografia 20
Tubo de lava preenchido
Serra de Botucatu, em local
próximo ao da fotografia
18.

6 - JUNTAS CURVIPLANARES

Quando a base de um derrame possui características semelhantes às do topo, pode originar-se um fraturamento colunar simultâneo de baixo para cima e de cima para baixo, até se encontrarem numa zona central. Nesta ocorrem fraturamentos violentos, às vezes até explosivos.

O aspecto desse fraturamento é de estruturas curvilineares que lembram ainda a disposição hexagonal (figuras nº 9 e 10).

Na Serra do Córrego Fundo foram encontradas juntas verticais e curvilineares associadas, com seus focos espaçados de 57 cm (fotografias de nº 21, 22 e 23), e consistem, num plano de vista, em fendas espaçadas irradiando de seus focos. Os traços superficiais das juntas curvilineares formam padrões diversos (radiais, "gravata-borboleta", festões).

Figura 9
Padrões formados pelas juntas curvilineares. (Hill, 1965)

Figura 10
Padrões formados pelas juntas curvilineares. (Hill, 1965)

Fotografia 21
Juntas curvilineares no basalto
SERRA DO CÔRREGO FUNDO - TAMBAÚ

Fotografia 22
Juntas curvilineares no basalto
SERRA DO CÔRREGO FUNDO - TAMBAÚ

Fotografia 23
Juntas curvilineares no basalto
SERRA DO CÔRREGO FUNDO - TAMBAÚ

7 - GRUTAS BASÁLTICAS

A gruta basáltica encontrada no Parque Municipal de Orlândia possui 8 m de comprimento, 5 m de profundidade e 2 m de altura. No teto da gruta são visíveis as figuras geométricas das disjunções, que, apesar de não serem muito bem formadas, são unidas, não existindo separação entre elas. As figuras são principalmente pentagonais e hexagonais, com diâmetro de 3 a 4 cm, apenas.

A origem dessa gruta é a seguinte: na massa basáltica houve compartimentação em blocos devido a disjunções colunares e partição horizontal; em seguida o local foi palco de movimentações, com deslocamento de alguns blocos, formando dessa maneira uma gruta.

São visíveis, na frente da gruta, alguns blocos destacados e outros semi-submersos no pequeno rio que corre em frente à mesma. No Parque Municipal são visíveis várias outras pequenas grutas, de origem idêntica.

Notam-se, em diversos lugares do Parque, blocos destacados e o local de onde se originaram. A fotografia de nº 24 mostra a separação de dois blocos.

Fotografia 24
Separação de blocos de basalto
PARQUE MUNICIPAL DE ORLÂNDIA

V - ESTUDO DAS DIREÇÕES DE FLUXO DE LAVA

1 - METODOLOGIA

Para medição da direção dos derrames ou das intrusões de rochas básicas que apresentam disjunção colunar, utilizamos o método de BRINKMANN (1957), que se baseia no fato de as formas ostentadas pelas colunas parecerem estar ligadas tanto ao tipo de manifestação magmática (derrame, sill, lopólito, dique) quanto aos esforços tectônicos reinantes por ocasião da cristalização magmática. A figura 12 (a,b e c) mostra os sucessivos estágios de modificação na forma de colunas de sills e derrames sob a ação de esforços crescentes. Na ausência de direções preferenciais dos esforços, as colunas tendem a assumir formas hexagonais regulares. Hexágonos deformados são obtidos sob o efeito de esforços preferenciais moderados. Formas retangulares serão obtidas sob a ação de esforços preferenciais. Tais esforços, no caso de corpos hipo-abissais, estão diretamente ligados ao mecanismo da intrusão, enquanto que no caso de derrames, os esforços são desenvolvidos pelo deslocamento da lava durante sua corrida.

Figura 12 - Modificação na forma das colunas de sills e derrames, sob a ação de esforços crescentes. (BRINKMANN, 1957)

O método de BRINKMANN consiste, basicamente, no seguinte:

1º) - Escolha, em afloramentos, de um conjunto de colunas aglutinadas;

2º) - Enumeração dos lados das diversas colunas, em ordem crescente, sempre num mesmo sentido (figura 13).

3º) - Medição dos comprimentos dos lados e anotação em ficha própria (tabela 1).

4º) - Medição dos rumos dos lados com a bússola. Tal medição, com a bússola, deve ser feita a uma certa distância do solo, para evitar a influência dos minerais ricos em ferro existentes nas rochas básicas sobre a agulha da bússola. Para tal expediente, utilizamos uma tábua de madeira de um metro de altura que possui, na porção superior, um suporte transversal também de madeira, onde é fixada a bússola para as medições. Os dados obtidos são lançados na mesma ficha do item 3º.

5º) - Os dados obtidos são lançados em outra ficha própria (tabela 2), ordenados em valores crescentes dos rumos.

6º) - Constrói-se uma poligonal somatória resultante (figura 13, c). A localização dos esforços preferenciais por ocasião da solidificação é perpendicular ao diâmetro máximo no caso de poligonais somatórias elípticas, e perpendicular ao lado maior no caso de poligonais retangulares.

A localização dos esforços em função das formas das poligonais resultantes já foi provada em estudos de derrames recentes onde a direção do fluxo magmático é perfeitamente conhecida.

Figura 13 - Seqüência das fases para o estudo das disjunções colunares:

- a - conjunto de colunas
 - b - enumeração dos lados das colunas
 - c - construção da poligonal somatôria resultante.
- (BRINKMANN, 1957) (WERNICK, 1974)

Ficha de Campo

Afloramento: D I A B Á S I O

Localização: PEDREIRA "LENCI", SITUADA A OESTE DE LEME

Observação: COLUNAS DO PARADÃO LESTE DA PEDREIRA

Data: 14 DE OUTUBRO DE 1977

Executor: Wanderley Orsatti

Ficha n.º: 34 - LEME/02

Lado	Comprimento	Rumo	Lado	Comprimento	Rumo
01	8 cm	W 249 S			
02	9 cm	N 324 W			
03	5,5 cm	N 341 W			
04	11,1 cm	N 43 E			
05	5,2 cm	E 139 S			
06	9,5 cm	E 116 S			
07	8,9 cm	S 202 W			
08	11,6 cm	S 223 W			
09	9,5 cm	N 304 W			
10	14 cm	N 352 W			
11	8,5 cm	N 73 E			
12	15,9 cm	E 142 S			
13	6,5 cm	N 7 E			
14	12 cm	N 87 E			
15	10,9 cm	E 135 S			
16	16,9 cm	S 182 W			
17	10 cm	N 297 W			
18	17,2 cm	N 324 W			

TABELA 1

Ficha de Gabinete

Afloramento:	D I A B Á S I O
Localização:	PEDREIRA "LENCI", SITUADA A OESTE DE LEME
Observação:	COLUNAS DO PAREDÃO LESTE DA PEDREIRA
Data:	19 DE OUTUBRO DE 1977
Executor:	Wanderley Orsatti
Ficha n.º:	34 - LEME/02

DADOS ORDENADOS

Lado	Comprimento	Rumo	Lado	Comprimento	Rumo
13	6,5 cm	N 7 E			
04	11,1 cm	N 43 E			
11	8,5 cm	N 73 E			
14	12 cm	N 87 E			
06	9,5 cm	E 116 S			
15	10,9	E 135 S			
05	5,2 cm	E 139 S			
12	15,9 cm	E 142 S			
16	16,9 cm	S 182 W			
07	8,9	S 202 W			
08	11,6 cm	S 223 W			
01	8 cm	S 249 W			
17	10 cm	N 297 W			
09	9,5 cm	N 304 W			
18	17,2 cm	N 324 W			
02	9 cm	N 324 W			
03	5,5 cm	N 341 W			
10	14 cm	N 352 W			

TABELA 2

2 - LOCAIS VISITADOS

Foram percorridos mais de 10.000 km de estradas de rodagem, asfaltadas ou não, do Estado de São Paulo, que cortam as rochas básicas, com vistas de se encontrarem as disjunções colunares para as respectivas medições.

Infelizmente não foi possível a utilização de fotografias aéreas para escolha dos locais, em vista de muitas estruturas colunares ou correlatas apresentarem pequena possança. De acordo com RICCI e PETRI (1965), os basaltos com disjunção colunar podem, pelo intemperismo, produzir nas fotos aéreas, aparência serrilhada, pela queda de colunas.

A escolha das estradas e dos locais foi baseada no Mapa Geológico do Estado de São Paulo (Secretaria da Agricultura - Instituto de Geologia e Geografia - 1967) e também na consulta de revistas especializadas (Boletins e Revistas da Sociedade Brasileira de Geologia, Anais dos Congressos Brasileiros de Geologia), livros nacionais, teses, etc., valendo-se também de informações pessoais (RUEGG, WERNICK).

Muitos dos locais visitados não apresentaram estruturas necessárias aos objetivos, motivo pelo qual não aparecerão neste trabalho.

VI - RESULTADOS DE OBSERVAÇÃO1 - BURITAMA

As disjunções colunares foram encontradas na Pedreira Bandeirante, situada em um afloramento de basalto na margem direita do Rio Tietê, a mais ou menos 500 m da ponte da rodovia Birigüi-Buritama.

As disjunções são representadas por colunas não muito grandes, com diâmetro maior de 10 cm. Predominam, localmente, as colunas pentagonais, cujo comprimento raramente ultrapassa 2 metros.

Na mesma margem, após a ponte, o basalto é vesicular, com notável arredondamento das vesículas, não se notando, nas mesmas, qualquer indício de alinhamento.

Foi encontrado apenas um conjunto de colunas passíveis de medição, cujo resultado apontou direção N 37º E.

Os arenitos da Formação Bauru recobrem, localmente, o basalto.

Figura 14 - Situação esquemática do local.

2 - AVANHANDAVA

As medições foram feitas em derrames de basalto que afloram em locais próximos à Hidroelétrica homônima.

Na margem esquerda do Rio Tietê, em colunas situadas junto à Hidroelétrica, duas medições foram efetuadas, apontando direções N 68º E e N 72º E.

Outro conjunto de colunas foi encontrado na mesma margem, mais ou menos 1 km a montante das quedas d'água, com resultado de direção apontando N 45º E.

Figura 15 - Situação esquemática da Hidroelétrica de Avanhandava, mostrando os locais das medições.

3 - SERRA DA FARTURA

Na Serra da Fartura, na rodovia Piraju-Fartura, a 12 km da primeira, vários derrames de basalto recobrem o Arenito Botucatu, o qual é atravessado por numerosos diques de diabásio.

Nesses derrames, as colunas, em uma extensão de aproximadamente 150 m, são pequenas, com porcentagem de formas hexagonais reduzida, notando-se maior densidade das de forma pentagonal. Colunas tetragonais não são raras. Duzentos metros após o local do afloramento das colunas, em direção a Fartura, existe outra exposição de colunas, mas em posição praticamente horizontal.

No conjunto formado pelas primeiras, foram possíveis 4 medições, 3 das quais apresentaram direções no quadrante NE (40º, 36º e 45º) e uma no quadrante NW (60º).

Fotografia 25 - Disjunções colunares no basalto da Serra da Fartura

4 - PEDREIRA DOURADÃO

Esta pedreira de diabásio está localizada na Rodovia Raposo Tavares, km 340, entre as cidades de Piraju e Ourinhos.

O afloramento de diabásio é pertencente a um sill encaixado em sedimentos da Formação Estrada Nova.

O diabásio é, em sua maior parte, maciço, mas em duas porções da pedreira, o mesmo mostra disjunções horizontalizadas, algo côncavas. Em ambos os locais, o diabásio possui amígdalas milimétricas, não orientadas, preenchidas por material de cor clara (?) ou material de cor verde (?). Raras são as amígdalas centimétricas.

Na parte superior das disjunções horizontais existem pequenas colunas verticais, cujas medições apontaram resultados de direções de N 60° W e N 60° E.

Fotografia 26 - Vista parcial da Pedreira Douradão

5 - RODOVIA ANHANGÜERA

Na região nordeste do Estado de São Paulo, próxima à fronteira com o Estado de Minas Gerais, a Rodovia Anhangüera expõem vários afloramentos de basalto.

Em alguns deles existem disjunções colunares que possibilitaram medições de direção do fluxo magmático. Esses lugares são os seguintes:

- a) - afloramento localizado entre as cidades de Aramina e Igarapava, no km 441,5 da rodovia.
A medição indicou direção N 209E.
- b) - afloramento localizado entre as cidades de Buritizal e Ituverava.
A medição indicou direção N 559W.
- c) - afloramento situado a 8 km da cidade de São Joaquim da Barra, no km 385 da rodovia.
A medição indicou direção N 259W.

6 - ORLÂNDIA

As medições foram feitas em afloramentos de basalto situados em dois locais distintos:

a - PARQUE MUNICIPAL

Localizado na própria cidade, considerado ponto turístico, em virtude da beleza natural do local e da presença de "grutas basálticas".

As colunas basálticas são pequenas (diâmetro maior entre 8 a 10 cm) cujos comprimentos atingem até 3 metros. Os resultados apontam: N 35º E e N 62º E.

b - PEDREIRA ORLÂNDIA

Esta pedreira está situada a mais ou menos 4 km a nordeste da cidade.

As colunas são bastante semelhantes às encontradas no Parque Municipal.

As medições efetuadas neste local mostram direções de N 53º E e N 75º E.

Figura 16 - Situação esquemática da "gruta basáltica".

7 - BRODÓSQUI

As medições foram realizadas em dois afloramentos de basalto, situados a sudoeste da cidade:

a - nas proximidades da estrada municipal em direção à Fazenda Coqueiro foram realizadas várias medições, e os resultados indicaram: N 20º E, N 61º E, N 5º E e N 89º W.

b - nas proximidades da estrada municipal, em direção à Fazenda Barrinha os resultados mostraram as seguintes direções: N 74º E, N 36º E e N 42º E.

Figura 17 - Situação esquemática dos dois afloramentos de basalto com disjunções colunares.-

8 - RIBEIRÃO PRETO

As medições foram feitas no basalto explorado pela Pedreira Saíd, localizada a 4 km ao sul da cidade, na rodovia para Araraquara.

Localmente, as colunas basálticas apresentam pequena possança, com o diâmetro maior raramente atingindo 10 cm e as colunas possuem comprimento de 2 a 3 m.

Os resultados das medições indicaram direções do fluxo magmático N 60º E e N 85º E.

Figura 18 - Localização esquemática da Pedreira Saíd.

9 - TAMBAÚ

As medições foram feitas na Serra do Córrego Fundo, situada na estrada municipal que liga a cidade de Tambaú a Santa Rita do Passa Quatro, a mais ou menos 10 km desta última.

De todos os locais visitados no Estado de São Paulo, este foi o local em que encontramos as melhores disjunções no basalto. O afloramento impressiona pela quantidade enorme de colunas. Infelizmente, tamanha beleza geológica está sendo destruída por uma pedreira local,

Na porção central e inferior da exposição, as colunas estão bem separadas umas das outras, formando colunas individualizadas, com diâmetro maior de até 30 cm. Estas colunas, em alguns locais, já se mostram algo intemperizadas, com a camada de intemperismo atingindo 1 cm de espessura e arredondando os cantos das colunas.

A exposição se prolonga por mais de 400 m, com altura atingindo 50 metros.

A porção do lado direito, na parte superior, próxima à estrada que vai para Santa Rita do Passa Quatro, mostra o basalto "gravata-borboleta".

Várias medições executadas na exposição mostraram os seguintes resultados: N 77º W, N 25º W e N 45º W. Uma medição executada na porção do lado esquerdo da exposição indicou direção N 25º E.

10 - BOA ESPERANÇA DO SUL

A rodovia de Jaú a Araraquara, no km 119, mais ou menos 10 km da cidade de Boa Esperança do Sul, corta um sill de diabásio, que de acordo com SOARES (1973) é transgressivo no Arenito Botucatu.

As colunas formadas neste sill, na exposição, são bem formadas, com predominância das formas hexagonais. Foram encontradas colunas com diâmetro maior de até 40 cm.

Os resultados das medições nestas colunas mostram que a intrusão processou-se nas direções: N 70º W, N 76º W e N 58º W.

Fotografia 27 - Disjunções colunares em diabásio

11 - ANALÂNDIA

As medições foram realizadas em um afloramento de basalto situado na rodovia Jaú-Piraçununga, nas alturas do km 82.

As colunas, no local, são pequenas, com diâmetro maior de 10 cm, e de pequeno comprimento, raramente ultrapassando 2 metros.

Os resultados das medições apontam, para o local, as direções N 25º W e N 18º W.

12 - LEME

As medições foram feitas em uma pedreira de diabásio a oeste da cidade, situada num sill em butido na Formação Irati. É o sill da Mata da Corda, mapeado por SOARES (1973). Este corpo magmático corresponde ao mesmo corpo em que efetuamos medições em Iracemápolis, em Limeira e em Santa Bárbara do Oeste.

As colunas resultantes das disjunções são bem individualizadas, com diâmetro maior, em algumas delas, atingindo 80 cm. Alcançam mais de 10 m de altura. São bem verticais, não se notando, no local, inclinações das colunas.

Os resultados das medições apontaram: 300, 470, 140, 380 e 220, todos no quadrante NW.

Fotografia 28 - Disjunção colunar em diabásio.-

13 - LIMEIRA

As medições foram efetuadas em duas pedreiras de diabásio, situadas próximas da Rodovia Anhanguera: Pedreira Limeirense (km 140) e Pedreira Cavinato (km 141).

Trata-se do mesmo corpo magmático em ambas as pedreiras, citado na pedreira de Leme. Em ambas o diabásio apresenta granulação bem desenvolvida. Na Pedreira Cavinato constatou-se a presença de cristais milimétricos esparsos de pirita, na porção norte da pedreira.

As disjunções colunares encontram-se em uma faixa de aproximadamente 20 m, em ambas as pedreiras, na região sudoeste das mesmas. O diâmetro maior das colunas gira em torno de 20-25 cm.

As medições efetuadas mostraram, em ambas as pedreiras, direção de N 55º W.

Fotografia 29 - Disjunção colunar em diabásio.
Pedreira Cavinato

14 - SANTA BÁRBARA DO OESTE

A rodovia que liga as cidades de Piracicaba e Americana, próximo à cidade de Santa Bárbara do Oeste, deixa visualizar um paredão de diabásio com aproximadamente 200 m de comprimento e 10 m de altura.

O corpo magmático, na sua porção central, exhibe colunas cujo diâmetro máximo atinge 1 m e são perfeitamente verticais. Este corpo magmático pertence ao mesmo sill descrito em Leme.

As medições das colunas indicam que, localmente, a intrusão fez-se ao longo da direção N 35º E.

Figura 19 - Situação esquemática do local.-

15 - IRACEMÁPOLIS

Foram encontradas disjunções colunares na Pedreira Dimas Ometo, próxima a Iracemápolis.

O corpo magmático que constitui a pedreira é o mesmo sill descrito em Leme. Localmente, é constituído por diabásio maciço, que apresenta disjunções colunares na porção norte da pedreira. As colunas, bem formadas, apresentam diâmetro maior de até 18 cm, são bem verticais, não mostrando as características encontradas em Limeira.

As disjunções colunares, após as medições, indicam direção de intrusão N 60º E.

16 - SERRA DE SANTANA

As medições foram efetuadas em um corpo magmático situado na Serra de Santana, no km 196 da rodovia que liga Rio Claro a São Carlos.

Segundo FÜLFARO, LANDIM e ELLERT (1967) o corpo magmático é um sill de diabásio que apresenta-se falhado em degraus, dando margem a que fosse considerado por muitos anos como dois derrames distintos. O sill assenta-se sobre os arenitos da Formação Botucatu.

As colunas formadas pelo diabásio apresentam diâmetro maior em torno de 30 cm. A maior parte das colunas é vertical, mas algumas exibem inclinações. Foi encontrada, quase ao final da exposição, em direção a São Carlos, uma estrutura denominada "Dutch Cheese" (JAMES, 1920)

A medição das colunas, apontou no local, direção de intrusão N 75º E.

Fotografia 30 - Aspecto parcial das colunas.-

17 - BARRA BONITA

As medições foram efetuadas em uma pedreira de basalto, abandonada, na estrada Jaú-Barra Bonita, situada a 500 m antes da ponte sobre o Rio Tietê.

As colunas não possuem, no local, possanças muito expressivas, com diâmetro maior girando em torno de 10 cm. São verticais e seu tamanho médio alcança até 3 metros.

Foi encontrado também nesta pedreira, um tubo de lava preenchido, com direção N 40° E e como o mesmo pode ser visto em dois pontos distintos da pedreira concluiu-se que o sentido do derrame foi de NE para SW.

As medições das disjunções colunares, no local, apontam as direções: 36°, 38°, 40° e 45°, todas no quadrante NE.

Figura 20 - Situação esquemática do local.-

18 - SAO PEDRO

A rodovia municipal Elysio de Paula Teixeira liga a cidade de São Pedro a Patrimônio. Logo à saída da cidade de São Pedro, inicia-se a serra de mesmo nome, a qual é constituída por arenitos da Formação Botucatu, com mais ou menos 190 m de espessura, capeados por 4 derrames de basalto. São encontrados também arenitos interderrames.

As colunas encontradas no topo da Serra de São Pedro são pequenas, com diâmetro maior de 8 cm e muitas delas apresentando inclinação.

As medições das colunas apontaram direções de N 120 E e N 180 E.

Fotografia 31 - Aspecto parcial das colunas.-

19 - SERRA DE BOTUCATU

As medições foram feitas em afloramentos de basalto, na rodovia Botucatu-São Paulo, km 237.

Nos diversos locais onde foram feitas as medições, verificou-se que as colunas não são muito bem formadas, com diâmetro maior em torno de 10 cm.

Localmente, o basalto assenta-se sobre a Formação Botucatu, existindo em vários lugares, os arenitos interderrames e também as brechas basálticas.

Dois tubos de lava foram encontrados, mas as condições geológicas locais não permitiram a indicação segura de seus sentidos. Os tubos mostram direções de N 20-30° W.

As medições, efetuadas nas disjunções colunares, apontam as direções N 50° W, N 28°W e N 20°W.

20 - RODOVIA PRESIDENTE CASTELO BRANCO

Nos km 188 e 189, a Rodovia Presidente Castelo Branco corta dois paredões de basalto, com aproximadamente 10 m de altura.

O primeiro deles, no km 188, pode ser visto numa extensão de aproximadamente 200 m. As disjunções colunares indicam direção N 50° E. Ainda, nesta exposição, foi encontrada a estrutura, denominada por JAMES (1920) de "Junta Esférica".

No segundo paredão, no km 189, a medição das colunas indicou direção N 50° W.

Fotografia 32 - Aspecto parcial das colunas.-

VII - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

1 - Os resultados obtidos apresentam um valor intrínseco local, ligado ao conhecimento dos esforços da área e seus dados poderão ser utilizados em Geologia Aplicada.

2 - Os basaltos das regiões nordeste e noroeste do Estado de São Paulo apresentam um valor concordante com uma direção NE. Esta direção também foi obtida por OLIVEIRA e LEONARDOS (in LEINZ, 1949).

Na região de Fartura, a maioria das medidas efetuadas concordou também com aquela direção, tendo sido encontrada uma direção discordante NW-SE.

Essas direções de fluxo de lava basáltica concordam com as observações feitas por FÜLFARO e SUGUIO (1967). As direções de lava NE-SW partiriam de condutos alimentadores principais, que se transformaram nos diques de direção N 40-45º W, enquanto que os fluxos NW-SE partiriam dos condutos subsidiários, NE.

Em Barra Bonita e São Pedro repete-se a mesma direção NE-SW mencionada anteriormente: além disso, foi possível, na primeira localidade, efetuar medida do sentido do fluxo, segundo a direção S 40 W.

As direções obtidas na Rodovia Presidente Castelo Branco (km 189), em Analândia e Tambaú, na direção NW-SE, talvez tenham tido influência da irregularidade do substrato, condicionando a direção do fluxo. No caso de Tambaú, FÜLFARO e SUGUIO encontraram um sistema de diques na direção N 60-70º E, com ocorrência subsidiária de alinhamentos N 40-45º W.

Conforme aqueles autores, esta área poderia ter sido região de alimentação, o que explicaria as medidas de direção de lavas obtidas neste trabalho.

Com os dados disponíveis não puderam ser convenientemente explicadas as direções obtidas em duas ocorrências da alta Anhangüera e do topo da Serra de Botucatu.

3) Quanto às direções obtidas com diabásios, deve-se distinguir alguns casos especiais. Próximo a Ourinhos, na Pedreira Douradão, as medidas foram efetuadas em colunas verticais do topo. No entanto, observa-se (fotografia nº 25) a intercalação de dia-

clasamentos horizontais flexionados e grande quantidade de zeólitas (?). Talvez nesse local tenha havido subsidência concomitante com o esfriamento. Por outro lado, o sistema de diques observados em Fartura poderi a atingir a região de Ourinhos e, como assinalam FÜLFARO e SUGUIO, 1974, os contatos laterais dos abundantes diques da região não são simples, podendo passar a pequenos sills ou então injetar irregularmente a rocha hospedeira, com inúmeras apófises.

Fotografia nº 23 - Vista parcial da Pedreira Douradão, mostrando diaclasamento horizontal flexionado.

Os dados dos diabásios de Boa Esperança do Sul, Leme e Limeira são concordantes com a direção NW-SE, concordando com os dados de observações de SOARES (1973), segundo os quais os sills desaparecem para dentro da Bacia do Paraná.

Três localidades forneceram direções de fluxo de lava intrusiva discrepantes: Serra de Santana, Santa Bárbara do Oeste e Iracemápolis. Vários autores defendem a possibilidade da ocorrência de fluxos laterais com direções discrepantes da frente principal.

4 - De uma maneira geral, as formações colunares são bem mais espessas em diabásio que em basalto. Tal fato é devido à maneira de formação. Como elas são originadas pelas contrações motivadas pelo resfriamento do material magmático, são mais bem formadas e mais espessas nos diabásios, visto que estes apresentam resfriamento mais lento.

5 - São raras, no Estado de São Paulo, outras formações seguras indicadoras de correntes de fluxo, tais como espiráculos, vesículas-cachimbo, etc., pois as mesmas, para a sua formação, necessitam de o piso, sobre o qual a lava caminhou, apresentar água. Como o substrato basáltico do Estado de São Paulo é o Arenito Botucatu, de origem desértica, a probabilidade de formação de tais estruturas é pequena.

6 - Estruturas superficiais de basalto indicadoras de correntes de fluxo (vesículas orientadas, filamentos de vidro distendidos, caneluras de lava, etc.) também são raras, em virtude da intensidade do intemperismo nas nossas condições e de a maior parte do nosso basalto estar coberta pela Formação Bauru ou outras.

7 - O desenvolvimento das juntas colunares associado a fendilhamentos horizontais e movimentos crustais de pequena intensidade, pode originar "grutas basálticas", como as de Orlândia.

8 - Pela sua excepcional beleza, quantidade, regularidade e tamanho, merecem ser preservadas as colunas encontradas na Serra do Córrego Fundo (Tambaú), que atualmente estão sendo desmontadas por uma pedreira.

VIII - A G R A D E C I M E N T O S

Especial agradecimento fazemos ao professor doutor JOSÉ VICENTE VALARELLI, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, nosso orientador, pela atenção, dedicação, carinho e, sobretudo, paciência que sempre nos dedicou no acompanhamento deste trabalho.

Aos professores EBERHARD WERNICK (Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro), NABOR RICARDO RÜEGG (do Departamento de Mineralogia e Petrologia da Universidade de São Paulo) e J. SEBASTIÃO ARAÚJO (do Instituto de Pesquisas Tecnológicas S/A) pelas inúmeras sugestões apresentadas.

Ao professor CHAIM ZAHER, do Colégio Objetivo de Araçatuba, cujo auxílio permitiu a impressão deste trabalho.

Ao professor PERCIVAL REQUENA, pelos cuidadosos desenhos elaborados.

IX - B I B L I O G R A F I A

- ALMEIDA, F.F.M., de - 1956 - O Planalto Basáltico da Bacia do Paraná - Boletim Paulista de Geografia - São Paulo.
- ALMEIDA, F.F.M., de - 1964 - Geologia do Estado de São Paulo - Boletim nº 41 do Instituto Geológico e Geográfico da Secretaria da Agricultura - São Paulo
- AMARAL, G., CORDANI, U.G., KAWASHITA, K e REYNOLDS, J.H. - 1965 - Potassium-argon dates of basaltic rocks from Southern Brazil. Geochimica et Cosmochimica Acta, vol. 30.
- ARID, F.M e LANDIM, P.M.B. - 1967 - Contribuição ao Estudo da Geologia da Cachoeira do Marimbondo (Rio Grande) - Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia - vol. 16, nº 2 - São Paulo.
- BARCHA, S.F. e ARID, F.M. - 1975 - Origem das Cachoeiras da Bacia do Alto Paraná - Revista Brasileira de Geociências - vol. 5, nº 2 - São Paulo.
- BJORNBERG, A.S., GANDOLFI, N. e PARAGUASSU, A.B. - 1971 - Basculamentos tectônicos modernos no Estado de São Paulo - Anais do XXV Congresso Brasileiro de Geologia - volume 2 - São Paulo.
- BRINKMANN, R. - 1957 - Kluft-und Korngefügereglung in Vulkaniten. Geol. Rundschau, 46(2).
- CHIOSSI, N.J. - 1971 - Geologia Aplicada à Engenharia - Grêmio Politécnico - USP - São Paulo.
- CHRISTOFOLETTI, A. e QUEIROZ NETO, J.P. de - 1963 - Os derames de Basalto da Serra de Santana - Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia - vol. 12, nºs 1-2 - São Paulo.
- EBERT, H. 1971 - Observações Estruturais no Contato Basal dos Sedimentos da Bacia do Paraná - Anais do XXV Congresso Brasileiro de Geologia - volume 2 - São Paulo.
- FRANGIPANI, A. - 1961/1962 - Mapa da Superfície Superior Basalto Subjacente aos Arenitos Cretáceos no Estado de São Paulo. Revista do Instituto Geológico e Geográfico do Estado de São Paulo.- vol. XV, nº Único - São Paulo.

- FRANZINELLI, E. - 1973 - Estratigrafia e Ambiente de Sedimentação do Arenito Pirambóia (Estado de São Paulo) - Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Geologia - vol. 1 - Aracaju.
- FÜLFARO, V.J. e SUGUIO, K. - 1967 - Campos de Diques de Diábasio da Bacia do Paraná - Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia - vol.16, nº 2 - S. Paulo
- FÜLFARO, V.J., LANDIM, P.M.B. e ELLERT, N. - 1967 - A Tectônica das Serras de Santana e São Pedro (Serra Geral) - Anais do XXI Congresso Brasileiro de Geologia - Curitiba.
- FÜLFARO, V.J., SUGUIO, K., LANDIM, P.M.M e BÖSIO, N.J. - 1971 - Bacia Paraná: Excursão nº 3 - Boletim Especial nº 2 - XXV Congresso Brasileiro de Geologia - São Paulo.
- FÜLFARO, V.J. e SUGUIO, K. - 1974 - Geologia da Região de Fartura (SP) - Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia - volume 2 - Porto Alegre.
- GUIDICINI, G. e CAMPOS, J.O. - 1968 - Notas sobre a Morfogênese dos Derrames Basálticos - Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia - volume 17, nº 1 - São Paulo.
- HILL, P.A. - 1965 - Curvilinear (radial, bow-tie, festoon) and Concentric Jointing in Jurassic Dolerite - Jour. Geology, 73.
- HOLMES, A. - 1970 - Geologia Física - Ediciones Omega S/A. Barcelona.
- JAMES, A.V.G. - 1920 - Factors Producing Columnar Structure in lavas. Jour. Geology, 28.
- LEINZ, V. - 1949 - Contribuição à Geologia dos Derrames Basálticos do Sul do Brasil - Universidade de São Paulo, Boletim 103-Geologia 5 - São Paulo.
- LEINZ, V., BARTORELLI, A., SADOWSKI, G.R. e ISOTA, C.A.L. - 1966 - Sobre o comportamento Espacial do Trapp Basáltico da Bacia do Paraná - Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia - vol. 15, nº 4.
- LEINZ, V. e AMARAL, S.E. do - 1970 - Geologia Geral - Companhia Editora Nacional - São Paulo.

- MACDONALD, G.A. - 1967 - Forms and Structures of Extrusive Basaltic Rocks. In Basalts, vol. 1, ed. H.H. Hess & A. Poldervaart. Nova York
- MEDEIROS, R.A. - 1971 - Bacia do Paraná - Excursão nº 2 - Boletim Especial nº 2 - XXV Congresso da Sociedade Brasileira de Geologia - São Paulo.
- MELFI, A.J. - 1967 - Potassium-argon ages for core samples of basaltic rocks from Southern Brazil. Geoch. Cosmochim. Acta 31.
- MENDES, J.C. e PETRI, S. - 1971 - Geologia do Brasil - MEC/Instituto Nacional do Livro - Rio de Janeiro.
- MONIZ, A.C. e outros - 1972 - Elementos de Pedologia - Editora da USP - Editora Polígono - São Paulo.
- OLIVEIRA, A.I. e LEONARDOS, O.H. - 1943 - Geologia do Brasil - Rio de Janeiro
- QUEIROZ NETO, J.P. - 1960 - Notas preliminares sobre a Geologia e Estrutura da Serra de Santana, Estado de São Paulo - Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia - vol. 12 nºs 1-2 - São Paulo
- RICCI, M. e PETRI, S. 1965 - Princípios de Aerofotogrametria e Interpretação Geológica - Cia. Editora Nacional - São Paulo.
- SARTORI, P.L. e MACIEL FILHO, C. - 1978 - Importância e Significado dos Derrames Granofíricos no Vulcanismo da Bacia do Paraná - Trabalho apresentado no XXX Congresso Brasileiro de Geologia - Recife.
- SCHNEIDER, R.L., MÜHLMANN, H., TOMMAZI, E., MEDEIROS, R.A., DAEMON, R.F. e NOGUEIRA, A.A. - 1974 - Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná - Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia - vol. 1 Porto Alegre.
- SOARES, P.C. - 1973 - O Mesozóico Gonduânico no Estado de São Paulo - Tese de Doutorado - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro.
- SOARES, P.C. e LANDIM, P.M.B. - 1973 - Aspectos Regionais da Estratigrafia da Bacia do Paraná no seu Flanco Nordeste - Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Geologia - vol. 1 - Aracaju.

- SOARES, P.C., SINELLI, O., PENALVA, F., WERNICK, E., SOUZA, A., e CASTRO, P.R.M. - 1973 - Geologia do Nordeste do Estado de São Paulo - Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Geologia - vol. 1 - Aracaju.
- SOARES, P.C. - 1974 - Elementos Estruturais da Parte Nordeste da Bacia do Paraná: Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia - Porto Alegre.
- SUGUIO, K., e FÜLFARO, V.J. - 1974 - Diques Clásticos e outras Feições de Contato entre Arenitos e Basaltos da Formação Serra Geral - Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia - Porto Alegre. Vol. 2.
- VIEIRA, A.J. - 1973 - Geologia do Centro e Nordeste do Paraná e Centro-Sul de São Paulo - Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Geologia - vol.3 Aracaju.
- WATERS, A.C. - 1960 - Determining Direction of Flow in Basalts. Am. Jour. Sci., 258-A.
- WERNICK, E. e EBERT, H. - 1967 - Novas observações sobre Rochas Básicas nos Arredores de Rio Claro - Anais do XXI Congresso Brasileiro de Geologia - Curitiba.
- WERNICK, E. 1974 - Disjunção Colunar e Tectônica - Revista Ciência e Cultura, vol. 26(12) - São Paulo.
- WILLIAMS, H., TURNER, F.J. e GILBERT, C.M. - 1970 - Petrografia - Editora Polígono. São Paulo.
- W.F,SILVA e C.G. DE BRITO - 1973 - Novas Possibilidades de Resolução Estrutural com o Método Sísmico na Bacia do Paraná. Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Geologia. Aracaju.